

## СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ И ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЕНИЯ

А.В. Калганова, Е.А. Шутов, Е. Д. Капустина  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: avk153@tpu.ru

## COMPARISON OF ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS FOR CALCULATING GROUNDING

A. V. Kalganova, E.A. Shutov, E. D. Kapustina  
National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *In this paper, has been made the calculation of the permissible values of the touch voltage, step voltage, and the permissible resistance value. Has been made modeling the system of grounding. Has been modeled a diagram of the electromagnetic fields.*

При выборе защитного и заземляющего оборудования на предприятиях как правило используют расчётные методики, которые сильно упрощены [1]. На практике это зачастую приводит к тому, что приходится производить замену оборудования, что увеличивает денежные затраты. Современные средства моделирования позволяют за достаточно короткие сроки создавать точные модели электроэнергетических систем, что позволяет делать более точный выбор и настройку работы оборудования, защиты, а также системы заземления, что позволяет автоматизировать, и ускорить сам процесс расчёта.

В данной работе рассматривается процесс моделирования системы заземления на подстанции с высоковольтным оборудованием.

При создании модели задавались параметры каждого отдельного элемента системы заземления. Были выбраны и заданы параметры расстояния элементов заземления, а также параметров каждого из слоев земли.

В таблице 1 приведены аналитически рассчитанные значения пределов допустимого сопротивления заземляющего устройства ( $R_G$ ), значения допустимого напряжения прикосновения ( $E_{touch}$ ) и допустимые значения шагового напряжения ( $E_{step}$ ) [1].

Значение удельного сопротивления заземляющего устройства по ПУЭ не должно превышать  $R_{GD}=4$  Ом в установках более 1 кВ [2].

В модели расчета программным комплексом дополнительно учитывались высокая проводимость почвы и многослойность грунта [3]:

$$\rho_{soil} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{[\rho_1 \cdot (L - H + f) + \rho_2 \cdot (H - f)]} = 193,7, \text{ Ом};$$

где  $\rho_{soil}$  – удельное сопротивление двух слоев земли,  $\rho_1, \rho_2$  – удельное сопротивление верхнего и нижнего слоев земли,  $L$  – длина стержней,  $H$  – глубина верхнего слоя земли,  $f$  – заглубление заземлителей.

После проведенных необходимых расчетов происходит выбор и настройка всех элементов системы защиты в программном комплексе (рис.1). Данный результат расчёта сопоставим с аналитическим расчетом, приведенном в таблице 1.

*Таблица 1 – Данные рассчитанного сопротивления земли*

$R_G$ , Ом	$E_{touch}$ , В	$E_{step}$ , В
3,75	3563	12760

74

	Calculated Volts	Tolerable Volts
Touch	2463,7	3672,9
Step	1086,8	13202,3

GPR	3764,5	Volts	Rg	3,706	Ohm
-----	--------	-------	----	-------	-----

Рис. 1. Расчётные допустимые уровни системы

По итогам моделирования можно заметить, что значения удельного сопротивления земли практически совпадают с рассчитанными значениями. Погрешность составляет  $\approx 1,29\%$ . Рассчитанные значения допустимого шагового напряжения и значения прикосновения имеют погрешность  $\approx 3\%$ . Результаты аналитического и численного расчетов совпадают только при учёте многослойности и качества грунтов в алгоритме программного комплекса.

Программная реализация расчета системы заземления позволяет построить диаграмму электромагнитных полей, которая изображена на рис. 2. Диаграмма отображает предельные напряжения шагового потенциала на защищаемой территории. На диаграмме отмечены цветовые обозначения, показывающие лимиты напряжений, пределы которых варьируются от 0 до 400 В [4].

В работе было произведено сравнение результатов численного и аналитического подходов к расчету системы заземления высоковольтного оборудования подстанции. Были рассчитаны допустимые значения прикосновения напряжения и шагового напряжения на территории подстанции, а также визуализирована диаграмма электромагнитных полей [5]. Результаты аналитического и численного расчетов совпали только при учете опции программного комплекса - учет многослойности земли. Результаты упрощенного аналитического расчета можно оценивать только как ориентировочные, с последующей корректировкой в модели программного комплекса. Такая методика расчета системы заземления действительно обеспечит сохранность высоковольтного оборудования и безопасность персонала.

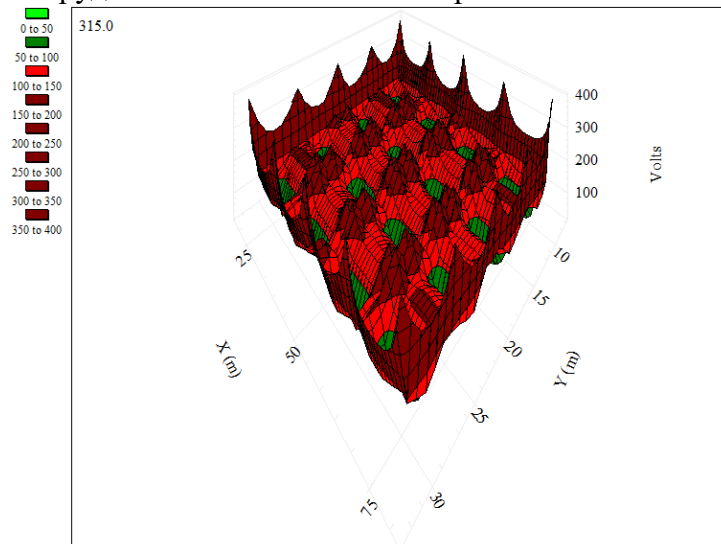


Рис. 2. Диаграмма электромагнитных полей шагового напряжения

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов Б.А., Дашковский А.Г. Расчет устройства защитного заземления. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 12 с.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / Минэнерго РФ. – 7-е издание 2002

3. Барыбина Ю. Г. и др. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. – М: Энергоатомиздат, 1991 г. – 464 с.
4. DEHN + SÖHNE: Protection Guide 3rd updated edition, DEHN + SÖHNE GmbH, 2014 – 489 p.
5. Etap powering success, User Guide, Operation technology, Inc. Registered to ISO 9001:2008, October 2016 – 5447 p.

## ВНЕДРЕНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ НА АЭС

О.Р. Крашенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: ork1@tpu.ru

## INTRODUCTION OF ALKALINE ELECTROLYZERS AT NUCLEAR POWER PLANTS

O.R. Krashenko

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The purpose of the study is to determine the optimal technology for hydrogen production. The report discusses the problems of hydrogen production. The main focus is on hydrogen production using alkaline electrolyzers. The scientific novelty of the research is to develop a technology for the production of hydrogen on an industrial scale, while minimizing the cost price of products.*

В настоящее время остро встал вопрос, связанный с водородной энергетикой. Водородные технологии становятся одним из актуальных направлений трансформации энергетики мира. На данный момент около 80% водорода получают из природного газа и нефтепродуктов путем паровой конверсии. В эндотермическом процессе паровой конверсии сжигается около половины природного газа с выбросом продуктов сгорания в атмосферу, что наносит вред экологии [1].

Щелочные электролизеры являются ключевой разработкой для получения водорода на атомных станциях при использовании расплавов солей и щелочей. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами электролиза и являются наиболее экологичными в сравнении с другими видами производств.

На данный момент, технология наработки водорода путем электролиза реализована на многих АЭС в РФ, но не переведена в промышленные масштабы. Щелочные электролизеры могут улучшить и наладить процесс наработки водорода [2].

К примеру, реализованный проект получения водорода путем адиабатической конверсии метана требует затрат на [3]:

- первоначальное строительство 230млрд. руб.;
- природный газ (в расчете на одну установку) – 11400 млн руб./год;

Решением проблемы является внедрение электролизеров, способных нарабатывать водород в промышленных масштабах, при минимизации себестоимости продукции на АЭС. Предлагаемая технология состоит из двух ступеней (рис.3): в первой ступени исходным сырьем является галит из которого методом электролиза нарабатывается щелочь с побочным получением водорода. На второй ступени используется щелочной электролизер, главным продуктом которого является водород [4].

Отбор воды для установки производится из химического цеха, а точнее – из системы водоподготовки. Через сеть трубопроводов вода поступает в отдельный цех по наработке водорода и производству сопутствующих продуктов. Далее в смесителе происходит образование раствора хлорида натрия, который через распределительные трубопроводы соединяется электролизерами первой ступени.